

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Generación de series sintéticas de flujos superficiales con GR2M en las subcuentas del río Mantaro**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Bach. Julian Robles Claveriano

Bach. Rider Ricardo Damian Chipana

**Asesor:**

Ing. Ferrer Canaza Rojas

Lima, junio de 2023

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Ferrer Canaza Rojas, docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“GENERACIÓN DE SERIES SINTÉTICAS DE FLUJOS SUPERFICIALES CON GR2M EN LAS SUBCUENCAS DEL RÍO MANTARO”** de los autores Julian Robles Claveriano y Rider Ricardo Damian Chipana tiene un índice de similitud de 4% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 19 días del mes de junio del año 2023.



---

Ferrer Canaza Rojas

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **19** día(s) del mes de **junio** del año 2023 siendo las **11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. David Diaz Garamendi**, el secretario: **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** y los demás miembros: **Mg. Leonel Chahuares Paucar** y el asesor **Ing. Ferrer Canaza Rojas** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Generación de series sintéticas de flujos superficiales con GR2M en las subcuencas del río Mantaro"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) ..... **JULIAN ROBLES CLAVERIANO**.....

.....b) .....**RIDER RICARDO DAMIAN CHIPANA**.....

.....conducente a la obtención del título profesional de:.....

.....**INGENIERO CIVIL**.....

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **JULIAN ROBLES CLAVERIANO** .....

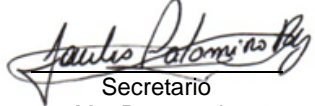
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>15</b>	<b>B-</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy Bueno</b>

Candidato (b): ..... **RIDER RICARDO DAMIAN CHIPANA** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>15</b>	<b>B-</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy Bueno</b>

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Ing. David Diaz  
Garamendi

  
Secretario  
Mg. Reymundo  
Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Ing. Ferrer Canaza  
Rojas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Leonel  
Chahuares Paucar

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Julian Robles  
Claveriano

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Rider Ricardo  
Damian Chipana

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos su bendición y protección, a nuestras familias y amigos que estuvieron con nosotros a lo largo de nuestra carrera Universitaria.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos esta tesis, en primer lugar, a Dios por darnos su bendición y protección, a nuestras familias y amigos que estuvieron con nosotros a lo largo de nuestra carrera Universitaria.

# INDICE

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS .....	2
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DEDICATORIA.....	5
INDICE.....	6
GENERATION OF SYNTHETIC SERIES OF SUPERFICIAL FLOWS WITH GR2M IN THE SUB-BASINS OF THE MANTARO RIVER.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
DESARROLLO.....	4
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	13
CONCLUSIONES.....	14
REFERENCIA .....	15
ANEXOS .....	16

## GENERACIÓN DE SERIES SINTÉTICAS DE FLUJOS SUPERFICIALES CON GR2M EN LAS SUBCUENCAS DEL RÍO MANTARO

## GENERATION OF SYNTHETIC SERIES OF SUPERFICIAL FLOWS WITH GR2M IN THE SUB-BASINS OF THE MANTARO RIVER

*Julian, Robles Claveriano<sup>1</sup>  
Rider Ricardo, Damian Chipana<sup>1</sup>  
Ferrer, Canaza Rojas<sup>1</sup>*

**RESUMEN:** El objetivo de la investigación, es la generación de series sintéticas de flujos superficiales en las subcuencas del río Mantaro. Donde la metodología consistió en la recolección de datos para el análisis de los datos hidrometeorológicos, donde para poder obtener la precipitación media de la subcuenca mediante el método de los polígonos de Thiessen, donde se llega a obtener el valor medio de la cuenca, para proceder en utilizar el modelo hidrológico agrupado GR2M, para estimar una serie de caudales y con ello predecir caudales en las subcuencas aguas abajo del río Mantaro. Dando como resultado un buen performance para la predicción, teniendo valores superiores al 0.90 en el índice de Nash Sutcliffe (NSE) y coeficiente de determinación (R2), concluyendo que el modelo, tiene un buen desempeño en estimar los caudales promedios y eso se refleja en los resultados.

**PALABRAS CLAVE:** Índices estadísticos, modelo determinístico, precipitación promedio.

**ABSTRACT:** The objective of the research is the generation of synthetic series of surface flows in the Mantaro River sub-basins. The methodology consisted of data collection for the analysis of hydrometeorological data, in order to obtain the average precipitation of the sub-basin using the Thiessen polygon method, and having the average value of the basin, we proceeded to use the GR2M grouped hydrological model to estimate a series of flows and thus predict flows in the sub-basins within the Mantaro River basin. The result was a good performance for the prediction, having values higher than 0.90 in the Nash Sutcliffe (NSE) and determination coefficient (R2), concluding that the model supports us to estimate the average flows and therefore has a lower error.

**KEYWORDS:** Average precipitation, deterministic model and statistical indices.

## INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en las diversas cuencas hidrológicas del Perú se da como respuesta a las precipitaciones que caen sobre ellas y es por ello la importancia de la implementación de herramientas de medición, para poder cuantificar la cantidad de agua disponible para fines de abastecimiento, irrigación, entre otros. (ANA, 2020). La cual, en la actualidad, existe una escasez de este tipo de instrumentación debido por un impacto en el costo de mantenimiento y ubicación inaccesible (Campos, 2021).

En hidrología, la modelización es una actividad predominante y un modelo hidrológico, es una herramienta esencial para comprender la dinámica de una cuenca hidrográfica para utilizar racionalmente los recursos hídricos y luchar contra las catástrofes naturales vinculadas a los fenómenos extremos (inundaciones y estiajes), gracias a los avances realizados en los campos de la informática, el tratamiento de datos y los sistemas de información geográfica (SIG) (Ngoma & Tathy, 2022). El usuario de un modelo hidrológico debe especificar los parámetros del modelo para que éste sea capaz de simular correctamente el comportamiento de una cuenca hidrográfica (Duan & Gupta, 2003). A partir de las observaciones realizadas cuantificando la precipitación caída, se reproduce la respuesta de escorrentía de la cuenca. La transformación de la precipitación en escorrentía sigue siendo un problema complejo, pero requiere para su uso sencillo, un número limitado de parámetros (Youssef & Simonneaux, 2018).

Diversos investigadores desarrollaron modelos hidrológicos que puedan transformar la precipitación a escorrentía directa, con un bajo recursos de insumos meteorológicos, y estos fueron nombrados como modelos agrupados con la finalidad de reproducir ciertos eventos pasados para poder predecir sucesos a futuro que pueda ser perjudicable a la comunidad. Uno de ellos, es el modelo GR2M, que tiene una metodología de transformación de precipitación a escorrentía, teniendo consigo dos parámetros principales como la función de producción y función de transferencia (Palomino, 2022) y su estructura consta de reservorios (Fig. 2).

Es por ello, que la problemática principal de las diversas cuencas hidrográficas a nivel nacional, es la inconsistencia en la información de precipitación y escasas de información de caudales para fines de diseño. Por ello la actual investigación ayudó con la predicción de series sintéticas de caudales mensuales, para sus múltiples aplicaciones relacionados al diseño de estructuras, energía eléctrica y agricultura (Flores & Silva, 2015).

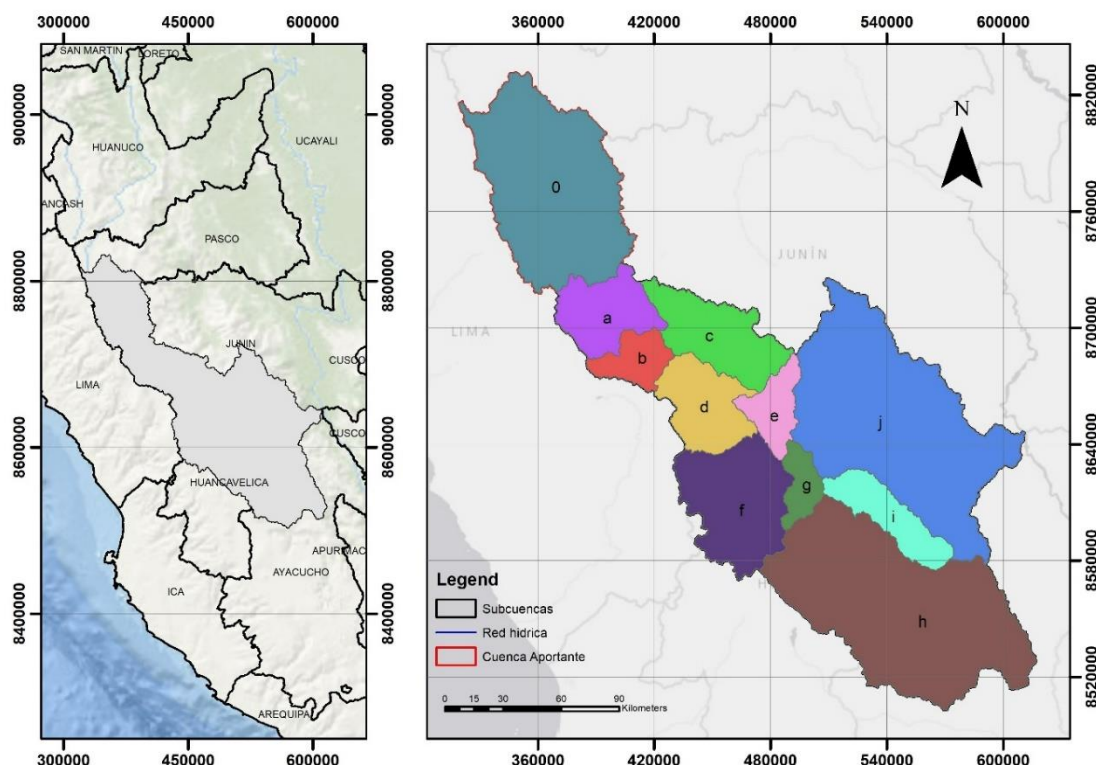
Utilizando el modelo agrupado GR2M, para la obtención de series sintéticas de caudales para diversos periodos históricos de la subcuenca de estudio, y así mismo predecir el comportamiento hidrológico de las otras subcuencas que contiene el río Mantaro, que no cuentan con alguna estación hidrológica o tenga escasez de dicha información. Para que pueda utilizarse para fines de diseño para diversas estructuras hidráulicas y/o viales, que puedan proyectarse dentro de la cuenca de estudio. Además, para que futuros investigadores puedan utilizarlo estos resultados, como un producto eficiente para sus cálculos correspondientes en la hidrología e hidráulica.



## DESARROLLO

El río Mantaro nace en el nudo de Pasco a 4300 msnm, recorriendo 725 km a través de las regiones de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho (Flores & Silva, 2015), por su distribución hidrográfica se divide en 16 subcuencas. La subcuenca de estudio se delimitó considerando como punto de aforo la estación hidrométrica Puente Chuléc, abarcando una superficie de 6040 km<sup>2</sup>, y se encuentra por debajo del lago Junín (Fig. 1). Donde la subcuenca aforada por el puente Chuléc, tiene dentro de ella 5 subcuencas, es por ello que, en base a esa cuenca aforada, se estimará los caudales de las subcuencas aguas abajo.

Figura 1 Mapa de localización de las subcuencas de estudio



### *Datos hidrometeorológicos*

Se utilizó datos grillados PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations), del cual se extrajo la información de (1) precipitación a escala mensual y (2) evapotranspiración potencial a escala mensual, a partir de las coordenadas geográficas de las diversas estaciones, habiendo seleccionado 26 estaciones. La data hidrométrica proviene de la estación Puente Chuléc que tiene caudales mensuales, con registros desde el periodo 1981 al 2016 y fue proporcionada por Electro Perú. Donde se detalla las fuentes de descargas de la información.

Data de precipitación a escala mensual (1981 al 2016).

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.stable/.monthly/?Set-Language=es>

Data de evapotranspiración potencial mensual (1981 al 2016)

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.PET/.v1p1/.stable/.monthly/?Set-Language=es>

### *Metodología*

La metodología utilizada para el estudio, es primero la recolección de información de precipitación y evapotranspiración potencial, donde se descargó de la fuente ya mencionada, y se procesó en el entorno GIS, utilizando el método de polígonos de Thiessen, para la estimación de la serie de precipitación promedia y evapotranspiración promedia. Esta herramienta distribuye proporcionalmente una cobertura de puntos para generar polígonos de áreas de influencia definidas a partir de cada punto. Donde se basa en la siguiente ecuación:

$$Valor\ promedio = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot A_i)}{A}$$

Y La metodología utilizada para el modelo GR2M en las subcuencas del río Mantaro, se subdivide en tres partes:

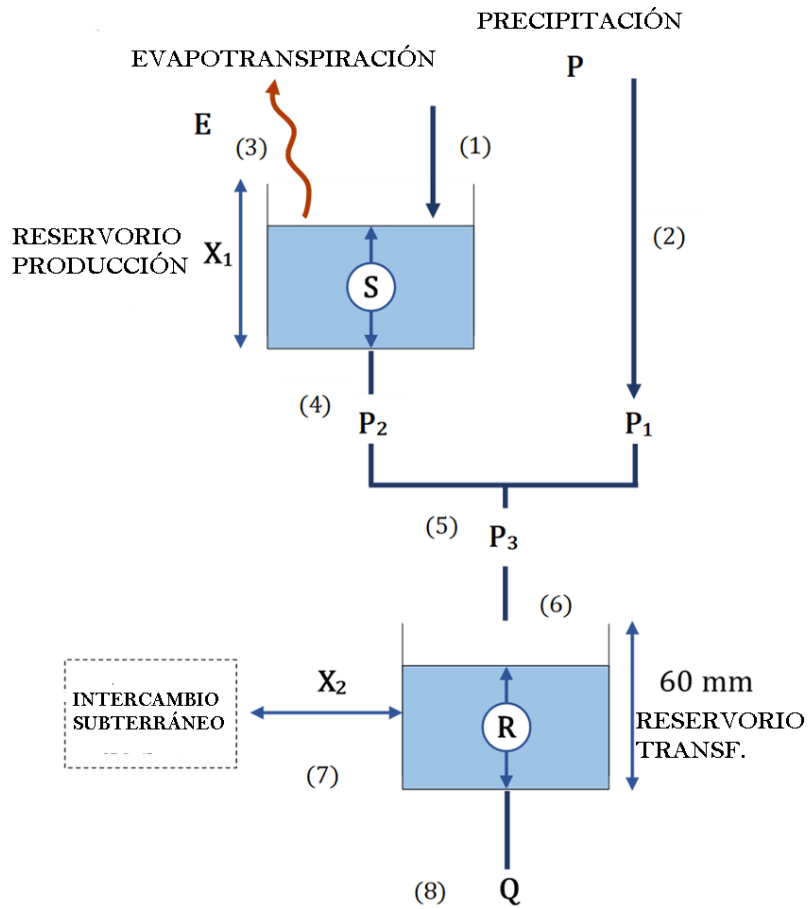
- 1) Promedio de precipitación y evapotranspiración, a escala mensual. Donde se seleccionaron con 26 estaciones meteorológicas en el periodo 1981-2016
- 2) Tratamiento de los datos recibidos de las distintas estaciones
- 3) Modelización hidrológica de la subcuenca aportante, mediante el modelo GR2M. Los datos se sometieron a diversos análisis estadísticos clásicos. Estos análisis permiten caracterizar el comportamiento hidrológico de la cuenca.

### *Modelo agregado – GR2M*

GR2M, es un modelo determinístico con enfoque agregado basado en la transformación precipitación a escorrentía, mediante la optimización de dos parámetros permiten la simulación de los caudales. Sus parámetros constan de dos reservorios (suelo y agua gravitacional) (Fig.2). Este modelo utiliza dos parámetros de optimización (X1 y X2): X1 representa la capacidad de y X2 representa el coeficiente de intercambio subterráneo. Se trata de un modelo con dos almacenes: un almacén en el suelo denominado almacén de producción y un reservorio de transferencia con una capacidad fijada en 60 mm.

Los parámetros de ajuste son la capacidad máxima de almacenamiento del suelo (parámetro libre), así como el parámetro de intercambio subterráneo que representa otra pérdida distinta de la evapotranspiración (ETP). El modelo utiliza como datos de entrada las precipitaciones, la ETP y los caudales convertidos en agua fluyente, y proporciona como datos de salida los caudales simulados expresados en mm.

Figura 2 Esquema del modelo agrupado



### Índices estadísticos

La validación del modelo se comprueba comparando los caudales calculados con los observados mediante un criterio de calidad (criterio de Nash-Sutcliffe). En la práctica, el modelo se estima mejor cuando su función objetivo se cierra en la unidad (1.00).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{observado}^t - Q_{simulado}^t)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{observado}^t - \overline{Q_{observado}})^2}$$

- NSE ≥ 0.90, el modelo es excelente;
- 0.80 ≤ NSE ≤ 0.90, el modelo es muy satisfactorio;
- 0.60 ≤ NSE ≤ 0.80, el modelo es satisfactorio y
- NSE ≤ 0.60, el modelo es malo.

La validación del modelo también se comprueba comparando los caudales calculados con los observados mediante un criterio de porcentaje de error (criterio de PBIAS). En la práctica, el modelo se estima mejor cuando su función objetivo se cierra al 0%.

$$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{observado}^t - Q_{simulado}^t)}{\sum_{t=1}^n (Q_{observado}^t)}$$

PBIAS  $\leq \pm 5$ , el modelo es excelente;

$\pm 5 \leq PBIAS \leq \pm 10$ , el modelo es muy satisfactorio;

$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 20$ , el modelo es satisfactorio y

PBIAS  $\geq \pm 20$ , el modelo es malo.

### *Precipitación promedio*

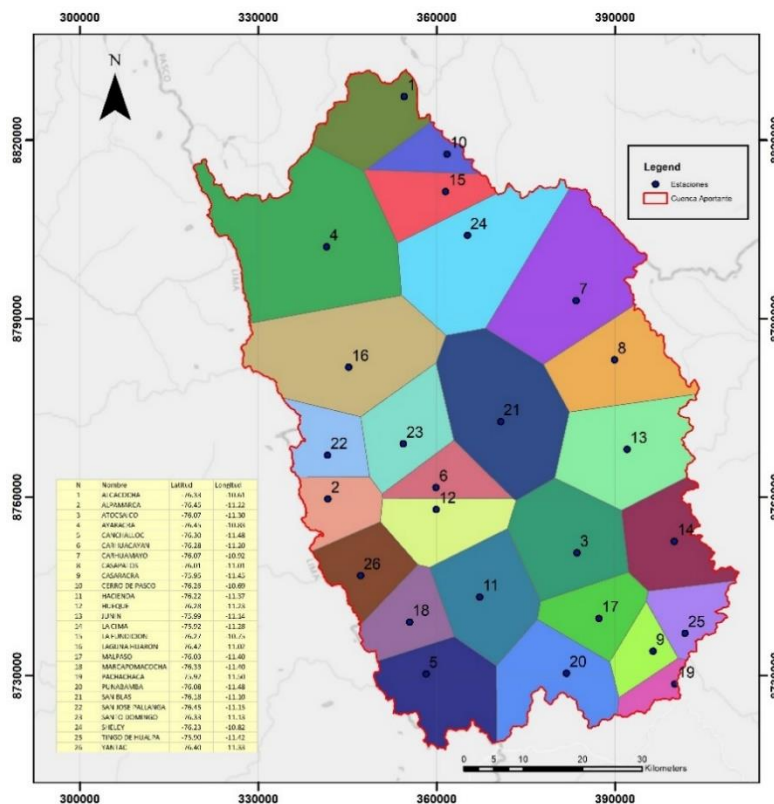
Se estimó la serie de precipitación promedio de la subcuenca de estudio, donde se trabajó con el método de los polígonos de Thiessen, donde se calculó con 26 estaciones meteorológicas que llegan a completar toda el área de influencia para la cuenca.

Tabla 1 Estaciones pluviométricas que involucran a la cuenca de estudio

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Periodo	Escala
1	ALCACOCHA	-76.33	-10.61	1981 -2016	Mensual
2	ALPAMARCA	-76.45	-11.22	1981 -2016	Mensual
3	ATOCSAICO	-76.07	-11.30	1981 -2016	Mensual
4	AYARACRA	-76.45	-10.83	1981 -2016	Mensual
5	CANCHALLOC	-76.30	-11.48	1981 -2016	Mensual
6	CARHUACAYAN	-76.28	-11.20	1981 -2016	Mensual
7	CARHUAMAYO	-76.07	-10.92	1981 -2016	Mensual
8	CASAPATOS	-76.01	-11.01	1981 -2016	Mensual
9	CASARACRA	-75.95	-11.45	1981 -2016	Mensual
10	CERRO DE PASCO	-76.26	-10.69	1981 -2016	Mensual
11	HACIENDA CORPACANCHA	-76.22	-11.37	1981 -2016	Mensual
12	HUEQUE	-76.28	-11.23	1981 -2016	Mensual
13	JUNIN	-75.99	-11.14	1981 -2016	Mensual
14	LA CIMA	-75.92	-11.28	1981 -2016	Mensual
15	LA FUNDICION	-76.27	-10.75	1981 -2016	Mensual
16	LAGUNA HUARON	-76.42	-11.02	1981 -2016	Mensual
17	MALPASO	-76.03	-11.40	1981 -2016	Mensual
18	MARCAPOMACOCHA	-76.33	-11.40	1981 -2016	Mensual

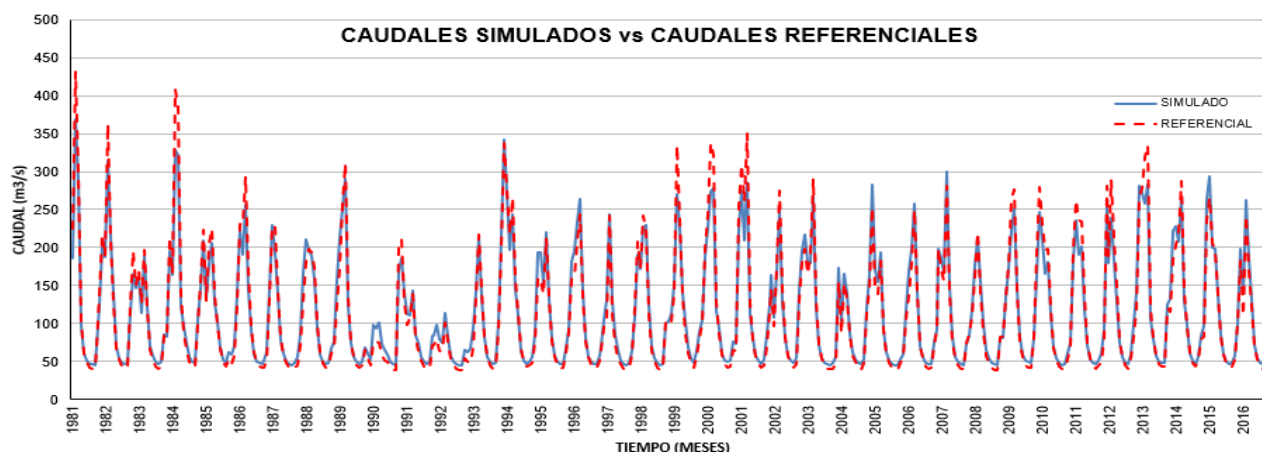
19	PACHACHACA	-75.92	-11.50	1981 -2016	Mensual
20	PUNABAMBA	-76.08	-11.48	1981 -2016	Mensual
21	SAN BLAS	-76.18	-11.10	1981 -2016	Mensual
22	SAN JOSE DE PALLANGA	-76.45	-11.15	1981 -2016	Mensual
23	SANTO DOMINGO	-76.33	-11.13	1981 -2016	Mensual
24	SHELEY	-76.23	-10.82	1981 -2016	Mensual
25	TINGO DE HUALPA	-75.90	-11.42	1981 -2016	Mensual
26	YANTAC	-76.40	-11.33	1981 -2016	Mensual

Figura 3 Estaciones para la subcuenca de estudio



Y con ese insumo de la serie de precipitación promedio, se implementó al modelo GR2M para poder estimar los caudales, y con ello poder realizar la calibración y validación del modelo, para poder aproximar a los caudales referenciales de la estación del puente Chuléc, ambos a escala mensual.

Figura 4 Caudales simulados vs Caudales referenciales



Donde en la figura anterior, se muestra gráficamente que tanto se asemeja los caudales que exporta el modelo GR2M, con respecto a los referenciales de la estación del puente Chuléc. Mientras estadísticamente se puede interpretar, que el modelo tiene un buen desempeño por lo que, en los tres indicadores estadísticos se encuentran en rangos de Bueno a Muy Bueno.

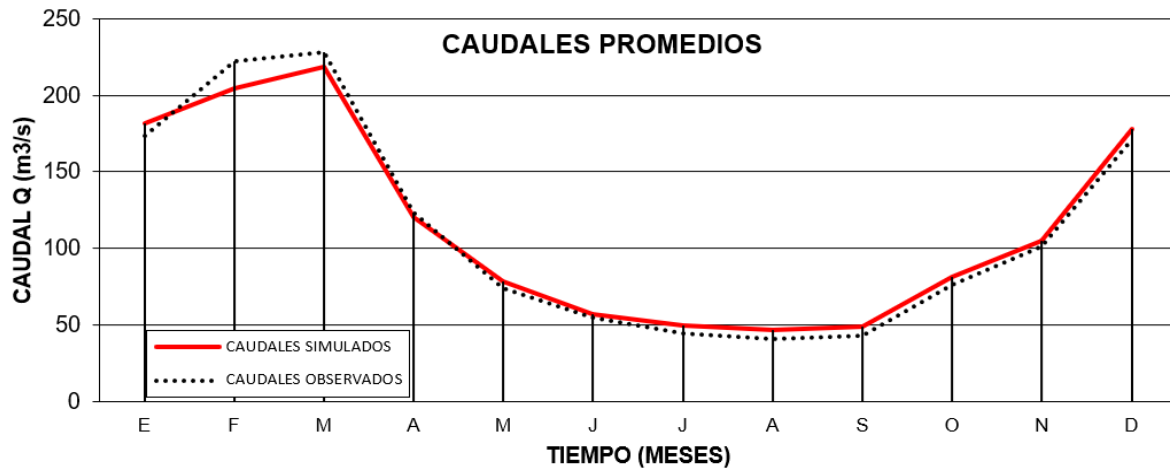
Tabla 2 Indicadores estadísticos para evaluar el desempeño del modelo

INDICADORES			
Caudal medio simulado	Q sim-m	114.08	m <sup>3</sup> /s
Caudal medio referencial	Q ref -m	112.77	m <sup>3</sup> /s
<b>Nash - Sutcliffe</b>	<b>NSE</b>	<b>0.96</b>	-
Porcentaje de Bias	PBIAS	-0.70	%
Data (Cantidad de meses)	n	432	-

Teniendo un buen desempeño, tanto gráficamente como estadísticamente, se procede a comparar los caudales promedios, máximos y mínimos, para poder analizar con mayor detenimiento y poder interpretar en cuál de los tres tipos de escala de caudales, se representan mejor y cual tiene mayor error. Con la finalidad que, al predecir los caudales de las otras subcuencas, podamos dar un margen de error para ellas.

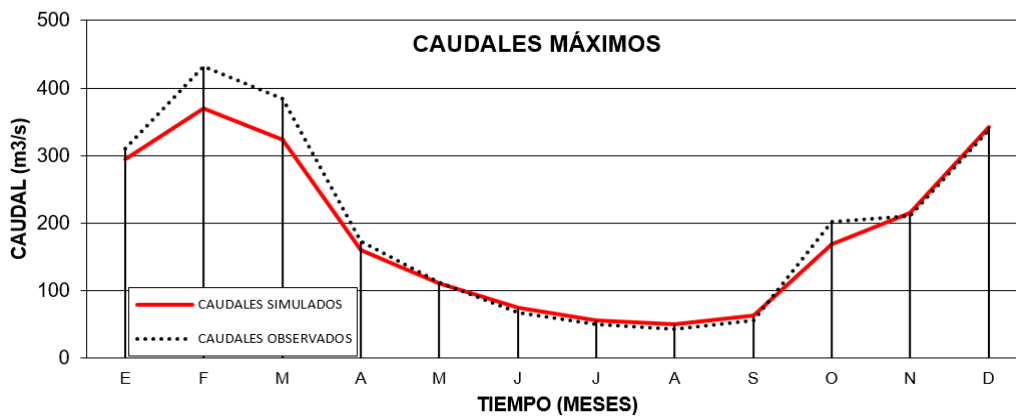
En caso de los caudales promedios mensuales, se puede visualizar que los meses de febrero y marzo, llegan a tener mayor discrepancia, dando consigo caudales subestimados por parte del modelo, teniendo errores relativos de 7.99% y 4.14% en dichos meses respectivamente. Dando un error promedio para todos los meses, de un 4.32%. Es por ello, que podemos interpretar que, en los meses de mayor caudal, el modelo llega a subestimar los valores de los caudales promedios mensuales.

Figura 5 Comparación de caudales promedios



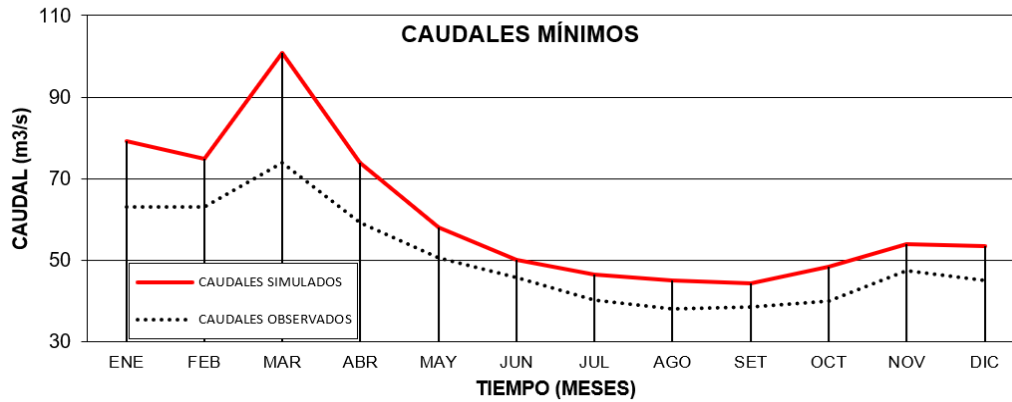
En caso de los caudales máximos, se puede visualizar en los meses del periodo húmedo de la cuenca, llegan a tener mayor discrepancia, dando consigo caudales subestimados por parte del modelo, teniendo errores absolutos de 5.12%, 14.29% y 16.13%, en los 3 primeros meses del año. Dando un error promedio para todos los meses, de un 9.52%. Es por ello, que podemos interpretar que, en los meses de mayor caudal, el modelo llega a subestimar los caudales máximos.

Figura 6 Comparación de caudales máximos



En caso de los caudales mínimos, se puede visualizar que se tienen mayor discrepancia en todos los meses, dando consigo caudales sobreestimados por parte del modelo. Dando un error promedio para todos los meses, de un 19.28%. Es por ello, que podemos interpretar que, en los meses de menor caudal, el modelo llega a sobreestimar los caudales mínimos.

Figura 7 Comparación de caudales mínimos



Utilizando los mismos parámetros del GR2M, para validar la subcuenca aforada, se procede a estimar las series de caudales de las demás subcuencas que pertenecen a la cuenca del río Mantaro, considerando que el mejor aporte, sería por parte de los caudales promedios. Donde se estimó los caudales mensuales de las principales subcuencas que aportan al río principal. Donde se puede visualizar en el siguiente esquema.

Figura 8 Subcuencas para la predicción de caudales mensuales

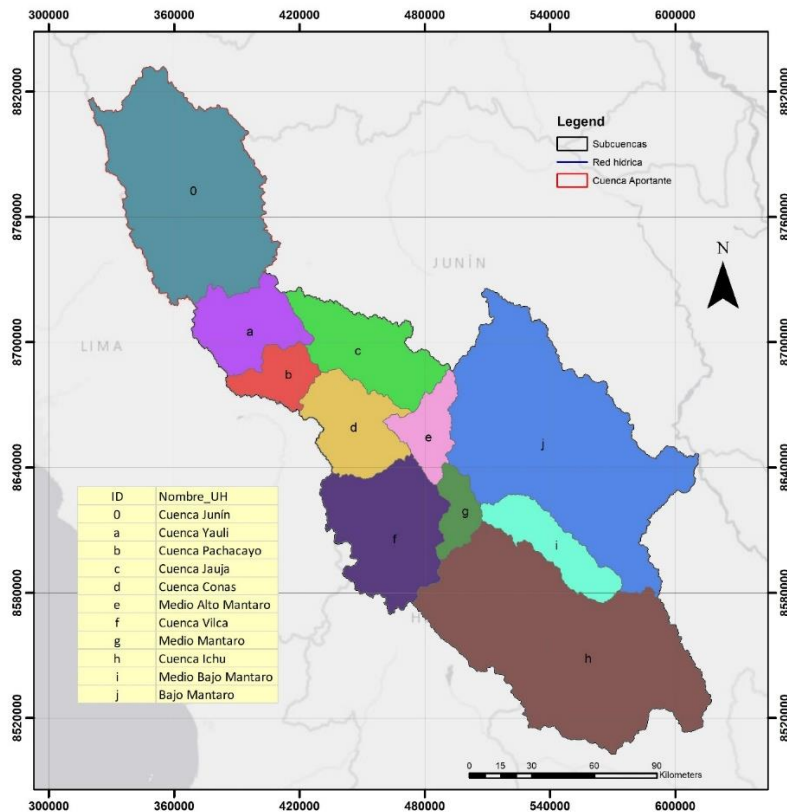
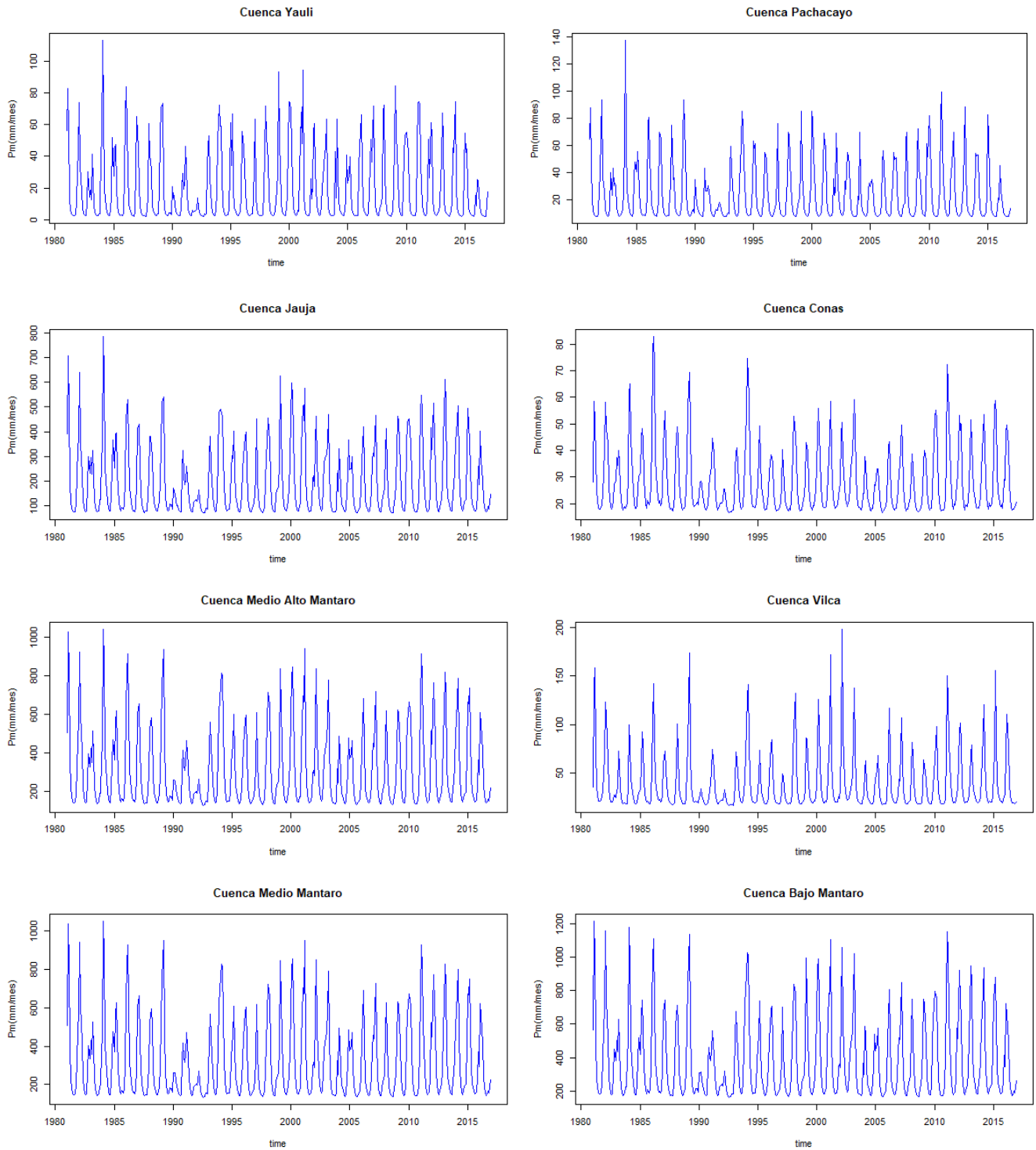
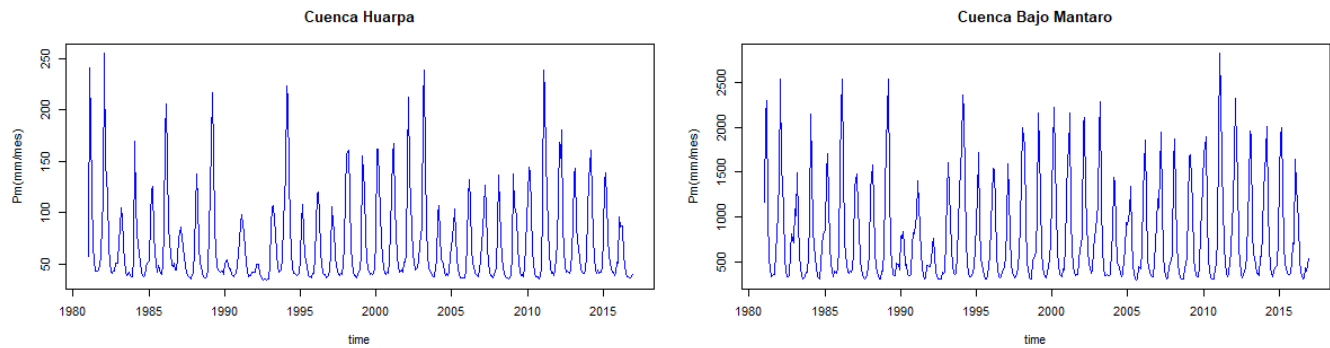




Figura 9 Serie de Caudales





## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Diversas investigaciones como de (Hadour, 2020) y (Driouech, 2020), que han obtenido resultados similares a los que se han presentado, destacando la eficiencia del modelo para predecir caudales promedio, mientras que otros estudios han encontrado limitaciones en la capacidad del modelo para predecir los extremos, como en caso de la cuenca Cleliff, Tafna y Macta (Hadour, 2020). Donde su estudio se da en la cuenca del río Brahmaputra en India, encontrando que el modelo GR2M tuvo una buena capacidad de predicción para los caudales medios y altos, pero una limitación en la capacidad de predecir los caudales bajos. Sugiriendo que el modelo puede ser adecuado para la gestión del agua en la cuenca, pero debe complementarse con otros modelos hidrológicos para predecir los caudales bajos.

Otro estudio en la cuenca del río Moulouya (Driouech,2020), encontró que el modelo GR2M logró predecir con precisión los caudales promedio y altos, pero presentó una limitación en la capacidad para predecir los caudales bajos. Los autores sugirieron que esto podría deberse a las características hidrológicas de la cuenca, que presenta una gran variabilidad en la precipitación. En general, los resultados que has presentado sugieren que el modelo GR2M es una herramienta útil para la predicción de caudales promedio en la subcuenca aforada. Sin embargo, se necesita tener precaución en la interpretación de los resultados de los extremos de los caudales, ya que se han encontrado limitaciones en la capacidad del modelo para predecirlos en otras investigaciones.

## CONCLUSIONES

Las series de precipitaciones promedio mensuales, se obtuvieron mediante el método de los polígonos de Thiessen, donde nos permitieron estimar el área de influencia de cada estación meteorológica, en base al área la subcuenca de estudio. Donde esta misma metodología, se usó para la evapotranspiración potencial, por lo que el modelo GR2M requiere de esos dos insumos de entrada para la exportación de caudales a escala mensual.

Se predijo las series de caudales mensuales de la subcuenca aforada, basándose de los parámetros de GR2M, considerando un valor de 5.29 milímetros para la capacidad de almacenamiento y 2.29 milímetros para el coeficiente de intercambio de agua. Dando consigo valores iniciales en el reservorio de producción de 99 milímetros y 30 milímetros para el nivel inicial de reservorio de transferencia. Concluyendo con índices estadísticos para el Nash Sutcliffe (NSE) de 0.96, un PBIAS de -0.7% y un R2 de 0.97.

El modelo hidrológico agrupado GR2M, nos ayudó estimar eficientemente los caudales promedios que puedan darse, teniendo desempeño categorizado de bueno a muy bueno. Pero en caso de caudales máximos y mínimos, se tiene una discrepancia de 9.52% y 19.28% respectivamente.

La serie de caudales para las otras subcuencas no aforadas, que pertenecen a la cuenca del río Mantaro, se predijeron mediante los parámetros del modelo GR2M, que llegó a validar la subcuenca con mayor altitud, donde esta subcuenca es la aportante principal.

Se recomienda trabajar con otros modelos hidrológicos con un enfoque más representativo para los caudales máximos y mínimos, como lo son los modelos distribuidos.

Se recomienda realizar un tratamiento estadístico para los caudales máximos y mínimos, en caso lo requieran para su uso; en caso de caudales promedios, se puede trabajar con ella, para fines de estudios de disponibilidad hídrica.

## REFERENCIA

- ANA. (2020). Evaluación del régimen hidrológico en las cuencas de los ríos Chillón, Rimac, Mala y Cañete para escenarios de cambio climático. Lima - Perú. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3819>
- Cabrera, J. (2012). Modelos agregados: GR2M. Lima - Perú. Obtenido de [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_6.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_6.pdf)
- Campos, G. (2021). Aplicación de los modelos hidrológicos GR2M y SMAP para la generación de caudales medios mensuales en subcuencas no aforadas. Caso de estudio: Cuenca Jequetepeque, Chancay - Lambayeque y Piura. Lima - Perú. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4016>
- Driouech, F., & Mahé, G. (2010). Evaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc. *Water Science and Application*.
- Duan, Q., & Gupta, H. (2003). Calibration of Watershed Models. *Water Science and Application*, 6. doi: <https://doi.org/10.1029/WS006>
- Flores, E., & Silva, C. (2015). Predicción de caudales diarios de la estación hidrométrica Tumilaca, aplicando modelos estocásticos autoregresivos. *Revista Ciencia & Desarrollo*, 68-78.7
- Hadour, A., & Mahé, G. (2020). Watershed based hydrological evolution under climate change effect: An example from North Western Algeria.
- Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación. México: Interamericana Editores. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Ngoma, C., & Tathy, C. (2022). Calibration and Validation of the GR2M Hydrologic Model in the Kouilou-Niari Basin in Southwestern Congo-Brazzaville. *Scientific Research Publishing*, 12, 109-124. doi:<https://doi.org/10.4236/ojmh.2022.123007>
- Palomino, J. (2022). Estimación de los caudales medios mensuales de la cuenca alta del Huallaga aplicando un modelo hidrológico racional con imágenes satelitales. Lima.
- SENAMHI. (2017). Uso del producto grillado PISCO de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica N° 001 SENAMHI-DHI-2017. Lima.
- Youssef, H., & Simonneaux, V. (2018). Modélisation pluie-débit et analyse du régime d'un bassin versant semi-aride sous influence nivale. Cas du bassin versant du Rheraya. *Agro-hydrology in semi-arid areas*, 49-62. doi:10.1051/lhb/2018032

## ANEXOS

### ANEXO 01: Trabajo en Gabinete



### ANEXO 02: Discusión de resultados obtenidos mediante el Zoom.





**ANEXO 03:** Inspección de las ciertas áreas de la cuenca de estudio.



**ANEXO 04:** Inspección de las ciertas áreas de la cuenca de estudio, Río Mantaro.

